西北林学院学报 2018,33(6):26-30
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2018.06.05

橡胶树与其他乡土树种混交对土壤微生物生物量碳的影响

陈　莉[1,2,3],兰国玉[1,3*],谭正洪[2],吴志祥[1,3],祁栋灵[1,3],杨　川[1,3]

(1.中国热带农业科学院 橡胶研究所,海南 儋州 571737;2.海南大学 热带农林学院,海南 海口 570228;
3.农业部儋州热带作物科学观测实验站,海南 儋州 571737)

摘　要:为了探讨橡胶树与其他乡土树种混交对橡胶林土壤微生物生物量碳(MBC)的影响,以橡胶纯种林、橡胶×火力楠(*Michelia macclurei*)混交林和橡胶×米老排(*Mytilaria laosensis*)混交林为研究对象,分析3种林地土壤表层(0～10 cm、10～20 cm、20～30 cm)中的土壤微生物生物量碳的影响。结果表明,橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林土壤微生物量碳分别下降了9.61%和9.87%,且分别在不同土层微生物量碳含量也减少了15.2%、8.78%、4.38%和11.95%、11.4%、5.97%;对混交林来说,微生物量碳受含水率、有机质、全氮、全磷和全钾影响不显著。纯种林土壤微生物熵分别比橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林高了7.48%和3.79%。由于橡胶树与其他乡土树种混交,改变了土壤养分,而影响了土壤微生物量碳的含量。

关键词:橡胶林;乡土树种;混交林;微生物量碳

中图分类号:S718.521.3　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2018)06-0026-05

Effects of the Mixed Cultivation of Rubber Trees with Other Indigenous Tree Species on Soil Microbial Biomass Carbon of Rubber Plantations

CHEN Li[1,2,3], LAN Guo-yu[1,3*], TAN Zheng-hong[2], WU Zhi-xiang[1,3], QI Dong-ling[1,3], YANG Chuan[1,3]

(1. *Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan* 571737, *China*;
2. *Institute of Tropical Agricultural and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan* 570228, *China*;
3. *Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan* 571737, *China*)

Abstract: The purpose of this study was to understand the effects of the mixed cultivation of rubber trees with other indigenous tree species on soil microbial biomass carbon (MBC) in rubber plantations. Stands with different cultivation modes were used as research objectives, including planting pure rubber tree, mixed with *Michelia macclurei*, as well as with *Mytilaria laosensis*. Contents of MBC in different layers (0－10, 10－20, 20－30 cm) were measured. The effects of different cultivation modes on MBC were analyzed. The results showed that compared with pure rubber tree stand, the contents of MBC in mixed stands of *M. macclurei* and *M. laosensis* decreased by 9.61% and 9.87%, respectively. The MBC contents in three soil layers in two mixed stands mentioned above decreased by 7.55%, 8.87%, 12.29% and 4.02%, 11.4%, 13.74%, respectively. In the case of mixed stands, soil MBC was not significantly affected by water content, organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium. The ratios of soil C_{mic}/C_{org} of pure rubber stand were 7.48% and 3.79% higher than those mixed stands of *M. macclurei* and *M. laosensis*. It was concluded that soil MBC was affected by the changes of soil nutrients under mixed cultivation mode.

Key words: rubber plantation; indigenous tree species; mixed forest; microbial biomass carbon

收稿日期:2018-01-07　**修回日期**:2018-04-03
基金项目:国家自然科学基金(31770661);外交部澜沧江-湄公河国际合作项目(081720203994192003)。
作者简介:陈　莉,女,在读硕士,研究方向:森林生态。E-mail:915293617@qq.com
* **通信作者**:兰国玉,男,研究员,研究方向:森林生态。E-mail:langyrri@163.com

橡胶林混交合理则可以提高橡胶林下土地资源的利用,降低橡胶价格波动带来的风险,增加割胶工人的收益。我国的橡胶种植面积和产量居于世界第五,海南和云南是其主要的种植区,约占全国橡胶种植总面积的 91.3%[1],橡胶林是热带地区林业经济重要的来源。然而近年橡胶价格持续降低,给种植园带来了大量的挑战,因此进行林下混交是林下经济的首选,但是目前可以选择林下间种的植物很少,筛选新的植被和种植模式成为了新的研究热点[2-3]。土壤微生物生物量碳(简称土壤微生物量碳)是指土壤中体积<5 000 μm^3 活的和死的微生物体内碳的总和[4],微生物量的高低则是通过微生物量碳含量来反映的。微生物生物量碳虽然只占土壤有机碳的 3%左右,但却是反映土壤质量的最敏感的指标之一[5]。

在国内,主要集中对作物栽培和施肥等土壤性质的土壤微生物量的研究,而对橡胶林混交的研究报道的比较少。本文从橡胶林混交对土壤微生物量碳的影响进行评价,并为橡胶林种植提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

试验地设在海南省文昌市(108°21′－111°03′E,19°20′－20°10′N),样地为文昌橡胶所二队 3 段试验基地。东、南、北三面临海,气候类型属于热带季风岛屿型气候,具有热带和亚热带的气候特点,四季分明。年平均温度为 23.9℃,年最低气温 0.3～6.6℃,出现在 1 月份。4－11 月降雨量约占全年的 20%,容易造成春旱;5－10 月常受到强热带风暴和台风的影响,降雨量占全年的 80%。干、湿季明显,春旱突出,常年降雨量为 1 721.6 mm。地处湿润区,冬季时常会有寒流的侵袭,年平均湿度为 87%。该试验地土壤多为沙壤土,大多数土壤 pH 值在6.5 以下,偏酸性,土壤有机质含量少。

1.2　研究方法

1.2.1　*样地设置与基本情况*　在文昌橡胶园试验地设置了 2 种处理,详细试验布置如下:

处理 1:橡胶树与米老排混交。处理 2:橡胶树与火力楠混交。设纯种橡胶林空白对照,进行空白行间常规胶树抚育。

样地土壤养分特征见表 1。2 种采样土壤 pH 值最高的是橡胶×火力楠混交林样地,与橡胶×米老排混交林样地和橡胶纯种林之间有显著性差异($P<0.05$),而橡胶×米老排混交林和橡胶纯种林之间无差异性($P>0.05$);2 种不同混交类型的全 P 含量中,橡胶×火力楠混交林与橡胶×米老排混交林和橡胶纯种林之间差异性显著,橡胶×米老排混交林全 K 含量明显高于橡胶×火力楠混交林和纯种林;而有机质和全 N 之间没有差异性。样地土壤酸碱度在 4.48～5.06,属酸性土壤。

表 1　土壤养分特征

Table 1　Characteristics of the plots and soil properties

样地类型	pH	有机质/%	全 N/%	全 P/%	全 K/%
橡胶×火力楠混交林	4.81±0.05 a	3.76±0.56 a	0.16±0.02 a	0.24±0.08 a	0.10±0.03 b
橡胶×米老排混交林	4.68±0.11 b	3.60±0.32 a	0.15±0.02 a	0.18±0.01 b	0.09±0.01 a
橡胶纯种林	4.61±0.04 b	3.85±0.34 a	0.16±0.05 a	0.18±0.01 b	0.08±0.03 b

注:相同小写字母表示无显著差异($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

1.2.2　*样品采集*　在每个样方内选取 3 个取样点(即 3 个重复),分别采集 0～10、10～20、20～30 cm 3 个土壤层土样,并将同一土层的土壤混合均匀,挑去里面的杂物和树根,迅速带回实验室。一部分土壤过 2 mm 筛后低温(4℃)储存,其后用于土壤微生物生物量碳的分析,另一部分风干做土壤养分分析。

1.2.3　*样品分析与数据处理*　土壤微生物生物量碳的测定采用精氨酸诱导氨化法[6]。称取 10 g 烘干的土壤,搁置于三角瓶中,加入精氨酸溶液(按 3 mg·kg^{-1} 土壤量加入),调节土水比至 1∶1,在 25℃条件下培养 2 h。培养结束后放入－15℃的冰箱中搁置 4 h,以终止氨化作用,取出后在室温下解冻。然后加入 20 mL 浓度为 2 mol/L 的氯化钾溶液,在 25℃温度下振荡浸提 15 min 后过滤。测定滤液中 NH_4^+－N 的含量,换算得到微生物生物量碳的含量。计算方法:

$$\omega(C)=0.01\times\frac{p\cdot v\cdot ts}{m}$$

式中,$\omega(C)$:土壤中微生物生物量碳的含量(mg/kg);p:测得的滤液中铵态氮的浓度(mg/L);v:显色液的体积(mL);ts:分取倍数 10;m:称取土壤质量(g);0.01:精氨酸诱导氨化法转换为微生物生物量碳的系数。

采用 SPSS v21.0 和 Excel 2007 进行 Duncan 多重比较与相关分析以及作图。

2　结果与分析

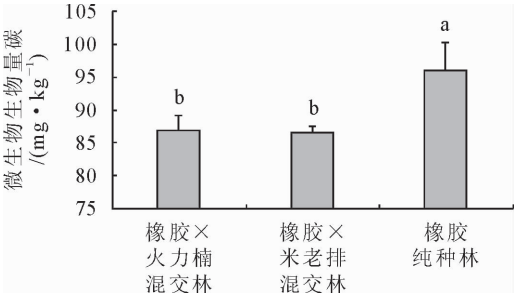
2.1　不同混交林地土壤微生物量碳的比较

如图 1 所示,2 种不同混交林地土壤微生物量碳在 86.56～96.04 mg·kg^{-1},土壤深度为 0～30

cm。橡胶纯种林的土壤微生物生物量碳含量显著高于橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林，具体大小关系为橡胶纯种林＞橡胶×火力楠混交林＞橡胶×米老排混交林。经过多重比较结果显示，橡胶纯种林林样地与其他样地有明显的差异（$P<0.05$），橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林之间差异性不显著（$P>0.05$）。

2.2 土壤深度变化对土壤微生物量碳的影响

如图 2 所示，橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林各土层微生物量碳之间没有显著的差异性（$P>0.05$）。橡胶纯种林各土层微生物量碳含量比橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林要高。橡胶纯种林的土壤微生物量碳含量随土层深度增加而减少，而橡胶×米老排混交林的土壤微生物量碳含量也随土层深度增加而下降；橡胶×火力楠混交林土壤微生物量碳含量在 10～20 cm 土层中最高，其次是 20～30 cm 和 0～10 cm。橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林各土层土壤微生物量碳含量均少于橡胶纯种林。



注：相同小写字母表示无显著差异（$P>0.05$），不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。图 2～图 4 同。

图 1 不同混交林土壤微生物生物量碳

Fig. 1 The soil microbial biomass carton of different mixed forests

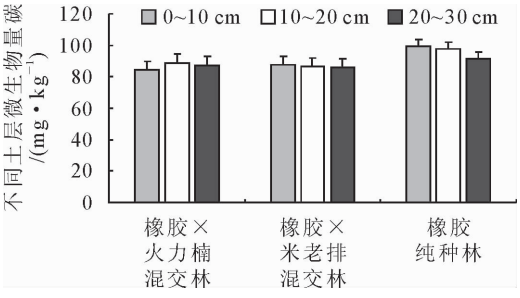


图 2 不同混交林不同土壤深度土壤微生物量碳

Fig. 2 The microbial biomass carton of different soil depths for different mixed forests

2.3 橡胶林混交乡土树种对土壤养分(N、P、K)的影响

如图 3 所示，在 2 种不同混交模式下全 P 的含量比全 N 和全 K 的含量高。全 N 含量较高的是橡胶纯种林，但橡胶×火力楠混交样地、橡胶×米老排混交样地与纯种林之间的差异不显著（$P>0.05$）；全 P 含量最高的是橡胶×火力楠混交样地，与橡胶×米老排混交样地和纯种林之间的明显的差异性（$P<0.05$），但橡胶×米老排混交样地和纯种林之间无显著差异性；全 K 含量最高的橡胶×米老排混交样地，橡胶×米老排混交与橡胶×火力楠混交之间有明显的差异，橡胶×火力楠混交和纯种林之间无显著差异性。

2.4 不同混交林类型的土壤微生物熵变化特征

微生物熵（C_{mic}/C_{org}）是土壤微生物量碳（C_{mic}）与土壤总有机碳（C_{org}）的比值，是土壤有机碳损失和获得的有效指标，而有些研究证明了微生物熵可作为土壤碳动态和质量的指标[7]，有研究者认为用土壤微生物熵来表示土壤动态变化，比单独使用土壤微生物量碳和总有机碳有效的多[8]。如图 4 所示，2 种混交林土壤微生物熵分别在 19.80%～26.29%、21.13%～25.97%波动，而橡胶纯种林为 23.20%～29.17%。土层 0～10 cm 土壤微生物熵为 19.80%～25.67%，10～20 cm 土壤微生物熵为 21.13%～29.17%，20～30 cm 微生物熵为 23.20%～25.97%。橡胶×火力楠混交林和橡胶纯种林 10～20 cm 土层土壤微生物熵含量最高，橡胶×米老排混交林 10～20 cm 土层含量最低。橡胶×火力楠混交林、橡胶×米老排混交林和纯种林之间的微生物熵差异不显著（$P>0.05$），且各土层微生物熵之间差异不显著（$P>0.05$）。

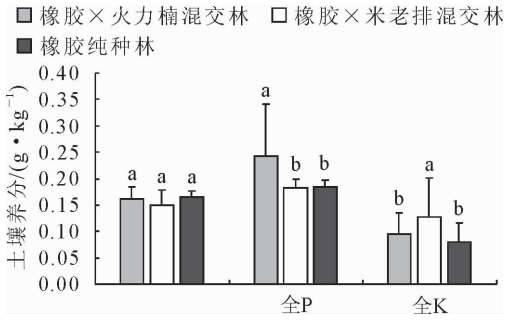


图 3 不同混交林的土壤养分(N、P、K)

Fig. 3 Soil properties of different mixed forests(N、P and K)

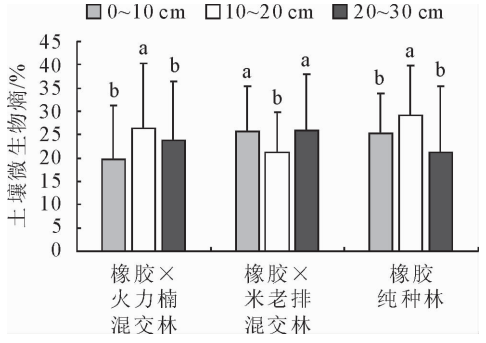


图 4 不同混交林土壤微生物熵变化动态

Fig. 4 The change of soil microbial quotient in different mixed forests

2.5　土壤微生物量碳与土壤含水率、有机质、全 N、全 P 和全 K 的相关性

如表 2 所示,橡胶混交林土壤微生物生物量碳与全 N、全 P 和全 K 之间均无显著性相关关系($P>0.05$),土壤微生物量碳与全 P 和全 K 是负向低度相关。土壤微生物量碳同样与有机质和含水率之间相关关系不显著。

表 2　土壤微生物生物量碳与土壤含水率、有机质、全 N、全 P、全 K 的相关系数

Table 2　Correlation coefficients between MBC to water content of soil, organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium

	含水率	有机质	全 N	全 P	全 K
微生物量碳(MBC)	0.111	0.086	0.017	−0.364	−0.433

3　结论与讨论

地上存在的植被类型对土壤微生物活动起着重要的作用,影响着土壤的理化性质,植物多样性的变化也会使之微生物量变化。本研究显示,不同混交林类型使橡胶林土壤微生物量碳有所下降,橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林分别下降了 9.61%和 9.87%。橡胶纯种林的土壤微生物量碳含量显著高于橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林,而橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林之间的土壤微生物量碳含量没有显著的差异,说明橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林对土壤微生物量碳影响较大,相对于纯种林呈下降趋势。不同植物的根系在土壤中交互生长,而根系的密度有所增加,使土壤的养分状况有所改善,对土壤微生物活动有一定的作用。植被类型和土地利用类型的改变都可能对土壤微生物量碳产生巨大的影响。调节土壤微生物量的主要因素来自土壤中可利用碳的质量和数量,不同植被类型凋落物的分解刺激群落的活性,对土壤微生物量碳含量产生影响[9]。有些研究得出,不同的植被类型的变化,影响凋落物的输入和土壤结构。

土层深度的变化影响着不同混交类型土壤微生物量碳空间动态,是其变化的一个重要因素。土壤微生物营养和能量主要来源于土壤有机质,以致于土壤有机质颗粒是微生物的栖息场所[10]。混交火力楠和米老排后,橡胶×米老排混交林和纯种林微生物量碳随着土壤深度增加而减少;而橡胶×火力楠混交林微生物量碳随着土壤深度增加而不规律。土壤微生物量碳随着土层深度加深而减少,而很多研究表明[11-15]也得出这一规律,主要由于 0～10 cm 土层微生物功能最强,微生物活动较频繁。总体而言,不同混交乡土树种后各土层微生物量含量比纯种林低,由土壤浅层到深层橡胶×火力楠混交林分别降低了 15.2%、8.78%、4.38%,橡胶×米老排混交林分别降低了 11.95%、11.4%、5.97%。这些微生物量碳的变化可能与环境因子、凋落物量和林下植被的代谢过程的变化有关,而由于长期各种营养元素的积累,导致不同土层的微生物量碳的含量有明显的不同[16-18]。土壤微生物量碳随土层变化主要取决于土壤的温度、水分、植物、动物和微生物相互作用形成的条件,人类活动也有不同程度的影响。研究表明,虽然不同混交林对土壤微生物量碳含量有影响,但未对土壤微生物量碳垂直分布有太大影响。

橡胶混交林土壤微生物量碳与土壤全 N、全 P 和全 K 养分元素含量之间无显著性相关关系,说明影响混交林土壤微生物量碳含量的限制因子不是全 N、全 P 和全 K;而橡胶混交林土壤微生物量碳与土壤含水率和有机质之间相关关系不显著,说明含水率和有机质对其影响不大,但有些研究表明土壤湿度是有一定的限制作用[19]。本研究中对微生物量碳含量的影响可能与环境因子、凋落物量和代谢有关,同时细根生物量也会对微生物量碳产生影响[20],因此需对这些影响机制进一步研究。凋落物的质量和数量与土壤微生物量碳有直接的关联,形成“披被”,随着土层深度的增加,养分也会增减。季节的动态变化对养分的储存有影响,土壤微生物量碳对环境因子的影响十分明显,有研究表明季节对微生物量碳的影响达到显著水平($P<0.05$)[21]。养分进入土壤-植物系统内的运动,以及土壤-植物系统内部的养分运动过程,土壤微生物量碳的变化特征表明养分与植被之间的关系。

研究表明,纯种林土壤微生物熵分别比橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林高 7.48%和 3.79%。微生物熵通常反应土壤微生物对土壤有机碳的利用效率,而橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林土壤微生物量碳低于纯种林,表明土壤微生物量碳的下降速度大于有机质下降的速度,土壤质量正在退化;并且纯种林土壤微生物熵高于橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林,说明橡胶×火力楠混交林和橡胶×米老排混交林底物碳的可利用度或被微生物固定的总有机碳的比例越低。橡胶×火力楠混交林 0～10 cm 土壤微生物熵低于 10～20 cm 和 20～30 cm,橡胶×米老排混交林土壤微生物熵 10～20 cm 低于 20～30 cm,微生物熵随着土层深度的增加而升高,很多研究都说明了[22]土壤中的有机碳处于相对积累的状态,并且表层土壤

中有机碳积累强度低于深层土壤。有机养分的循环利用提高了土壤中微生物量碳的含量[23],需要加重认识。土壤层的理化性质和根系的发育,有利于微生物的繁殖和生存。不同混交林类型对土壤微生物熵的影响显著,但土壤微生物熵变化规律是否与土壤理化性质有关,还需后续的研究。

本研究结果表明,橡胶林与其他乡土树种(火力楠和米老排)混交改变了植胶区的土壤微环境,降低了土壤微生物生物量碳,减弱了土壤微生物作用;混交改变了土壤养分,从而土壤微生物量碳含量也降低,不同土层微生物量碳含量也在减少。因此,不应提倡在橡胶林混交火力楠和米老排,会对橡胶业造成不良影响。可以考虑在橡胶林混交其他的植物物种,以确保橡胶树的生长。

参考文献:

[1] 刘锐金,莫业勇. 橡胶产业现状与展望——2012 年中国橡胶年会综述[J]. 热带农业科学,2012,32(6):76-84.

[2] 郑定华,袁淑娜,陈俊明,等. 橡胶林下间作广金钱草的生长及产量[J]. 江苏农业科学,2018,45(18):141-144.

[3] RODRIGO V H, STIRLING C M, SILVA T U, *et al*. The growth and yield of rubber at maturity is improved by intercropping with banana during the early stage of rubber cultivation[J]. Field Crops Research, 2004, 91(1): 23-33.

[4] 黎荣彬. 土壤微生物生物量碳研究进展[J]. 广东林业科技,2008,24(6):65-69.

[5] 张海燕,张旭东,李军,等. 土壤微生物量测定方法概述[J]. 微生物学杂志,2005,25(4):95-98.
ZHANG H Y, ZHANG X D, LI J, *et al*. Outline of soil microbial biomass measurement methods[J]. Journal of Micro Biology, 2005, 25(4): 95-98. (in Chinese)

[6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:234-235.

[7] 刘守龙,苏以荣,黄道友,等. 微生物熵对亚热带地区土地利用及施肥制度的相应[J]. 中国农业科学,2006,39(7):1411-1418.
LIU S L, SU Y R, HUANG D Y, *et al*. Response of C_{mic}-to-C_{org} to land use and fertilization in subtropical region of China[J]. Scientia Agricultura Scinica, 2006, 39(7): 1411-1418. (in Chinese)

[8] 徐阳春,沈其荣,冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报,2002,39(1):89-95.

[9] WARDLE D. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil[J]. Biological Reviews, 1992, 67(3): 321-358.

[10] 谢龙莲,陈秋波,王真辉,等. 环境变化对土壤微生物的影响[J]. 2004,24(3):39-47.

[11] 李志辉,李跃林,杨民胜,等. 桉树人工林地土壤微生物类群的生态分布规律[J]. 中南林学院学报,2002,22(3):24-28.

[12] 李君,兰国玉,李玉武. 海南儋州 5 种林地土壤微生物生物量碳对比[J]. 西北林学院学报,2016,31(3):63-67.
LI J, LAN G Y, LI Y W. Comparative studies on soil microbial biomass carbon in rubber forest and secondary forest in Danzhou, Hainan Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(3): 63-67. (in Chinese)

[13] 王春燕,陈秋波,李光明,等. 不同树龄橡胶林土壤微生物生物量碳的垂直分布特性[J]. 林业资源管理,2012(2):59-64.

[14] 吴则焰,林文雄,陈志芳,等. 中亚热带森林土壤微生物群落多样性随海拔梯度的变化[J]. 植物生态学,2013,37(5):397-406.
WU Z Y, LIN W X, CHEN Z F, *et al*. Variations of soil microbial community diversity along an elevational gradient in mid-subtropical forest[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(5): 397-406. (in Chinese)

[15] 刘爽,王传宽. 五种温带森林土壤微生物生物量碳氮的时空格局[J]. 生态学报,2010,30(12):3135-3143.
LIU S, WANG C K. Spatio-temporal patterns of soil microbial biomass carbon and nitrogen in five temperate forest ecosystems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(12): 3135-3143. (in Chinese)

[16] 翟辉,张海,邱梅,等. 黄土高原退耕坡地不同类型林分土壤生物学活性的研究[J]. 西北林学院学报,2016,31(4):33-38.
ZHAI H, ZHANG H, QIU M, *et al*. Soil biological activity of different tree types on slope land converted from farmland in the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4): 33-38. (in Chinese)

[17] TONON G, BOLDREGHINI P, GLIOACHINI P. Seasonal changes in microbial nitrogen in an old broadleaf forest and in a neighboring young plantation[J]. Biology and Fertility of Soils, 2005, 41: 101-108.

[18] 姜培坤,徐秋芳,余益武. 微生物生物量碳作为土壤肥力评估的一个指标[J]. 浙江林学院学报,2002,19(1):17-19.

[19] 向元彬,黄从德,胡庭兴,等. 不同密度巨桉人工林土壤有机碳及微生物量碳氮特征[J]. 西北植物学报,2014,34(7):1476-1481.
XIANG Y B, HUANG C D, HU T X, *et al*. Characteristics of soil organic carbon and microbial biomass carbon and nitrogen in *Eucalyptus grandis* plantations with different densities [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin., 2014, 34(7): 1476-1481. (in Chinese)

[20] 李娇,蒋先敏,尹华军,等. 不同林龄云杉人工林的根系分泌物与土壤微生物[J]. 应用生态学报,2014,25(2):325-332.
LI J, JIANG X M, YIN H J, *et al*. Root exudates and soil microbes in three *Picea asperata* plantations with different stand ages[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 325-332. (in Chinese)

[21] 周义贵,郝凯婕,李贤伟,等. 川西亚高不同土地利用类型对土壤微生物量碳动态特征的影响[J]. 自然资源学报,2014,29(11):1944-1955.

[22] 尉海东,董彬. 鲁东南杨树人工林土壤微生物生物量碳的时空动态[J]. 生态环境学报,2013,22(2):233-238.

[23] 陈安磊,王凯荣,谢小立. 施肥制度与养分循环对稻田土壤微生物生物量碳氮磷的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,24(6):1094-1099.
CHEN A L, WANG K R, XIE X L. Effects of fertilization systems and nutrient recycling on microbial biomass C, N, and P in a reddish paddy soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 24(6): 1094-1099. (in Chinese)